

Lihanaudan residuaalisen syönnin määrittämisen optimointi

Johanna Anttonen
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Maataloustieteiden osasto
Kotieläinten ravitsemustiede

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Maataloustieteiden osasto	
Tekijä — Författare — Author Johanna Anttonen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Lihanaudan residuaalisen syönnin määrittämisen optimointi			
Oppiaine — Läroämne — Subject Kotieläinten ravitsemustiede			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterintutkielma		Aika — Datum — Month and year Huhtikuu 2020	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 37 s.
<p>Tiivistelmä — Referat — Abstract</p> <p>Residuaalinen syönti (RFI) on eläimillä käytetty mittaamenetelmä rehuhyötysuhteen määrittämiseksi. Rehuhyötysuhteen parantamisen on havaittu olevan taloudellisesti hyödyllisempää kuin päiväkasvun maksimointi. Rehuhyötysuhteen määrittäminen on työlästä sillä mittaussjaksot ovat pitkiä ja kalliita. Ongelmana on mittaustieteiliden rajallinen kapasiteetti suhteessa eläinmäärään, koska eläimen päivittäinen kuiva-aineen syönti (DMI), keskimääräinen päiväkasvu (ADG) ja metabolinen keskipaino (MMBW) täytyy mitata riittävän pitkältä yhtämittaiselta jaksolta.</p> <p>Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia mahdollisuutta optimoida residuaalisen syönnin mittaamista ja vähentää siten työn määrää. Tällöin mittaamisesta aiheutuneet kustannukset olisivat pienemmät ja mittaustieteiliden käyttöaste paranisi. Tutkimuksessa etsittiin kriittistä rajaa tarvittavalle datan määrälle. Aineistosta poistettiin mittauskertoja, kunnes havaittiin tulosten luotettavuuden kärsivän. Hypoteesi oli, että mitä vähemmän mittauksia ja lyhyempi mittausjakso, sitä suurempi riski virheeseen oli tuloksissa.</p> <p>Tutkimusaineistona oli 105 maitorotuista sonnia ja koe kesti 56 päivää (pv). Jokaiselle eläimelle mitattiin DMI ja eläimet punnittiin kokeen aikana kerran viikossa, kaikkiaan yhdeksän kertaan (mittausjakson alussa, keskellä ja lopussa kaksoispunnitus peräkkäisinä päivinä). Punnitusten avulla laskettiin eläinten ADG ja MMBW. Lisäksi jokaisen sonnien pitkän selkälihaksen poikkileikkauksen (<i>M.longissimus dorsi</i>) pinta-ala ja selkäräsran paksuus mitattiin ultraäänilaitteella kokeen lopussa. RFI laskettiin seitsemälle eri mittausjaksolle. Alkuperäistä 56 pv:n jaksoa lyhennettiin seitsemän päivää kerrallaan, kunnes jakson pituus oli 28 pv. Ultraäänimittaukset lisättiin vain 56 pv:n mittausjakson malliin. Lisäksi alkuperäisestä 56 pv:n mallista vähennettiin punnitusten määrää yhdeksästä viiteen ja kolmeen kertaan.</p> <p>Ultraäänimittauksien lisääminen heikensi tilastomallia verrattuna 56 pv:n alkuperäiseen mittausjaksoon. Eniten eläinten RFI tulokset muuttuivat 28 pv:n ja 35 pv:n malleissa. Vähiten tulosten luotettavuus heikkeni 49 pv:n ja viiden punnituksen malleissa. ADG:n ja MMBW:n keskiarvot pysyivät malleissa lähes samana 35 pv:ään asti. DMI:n arvot muuttuivat sitä enemmän mitä lyhyempi mittausjakso oli.</p> <p>Tulosten perusteella RFI:n mittausjakson luotettava lyhennetty pituus oli 42 pv. DMI:lle riittää hyvin 42 pv:n mittausjakso, mutta ADG:lle kannattaa käyttää pidempää mittausjaksoa. Kolme punnituskertaa ei muuttanut ADG:tä niin paljon kuin 49 pv:n mittausjakso ja se oli luotettavuudeltaan parempi kuin 42 pv:n mittausjakso. Selkälihaksen ja selkäräsran lisääminen RFI-malliin ei parantanut mallin luotettavuutta eikä siten tuottanut lisäarvoa. Tämän tutkimuksen perusteella RFI:n määrittämiseen ei tarvita ultraäänimittauksia, ja työ määrää voidaan vähentää myös lyhentämällä mittausjaksoa tai vähentämällä punnituskertoja.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Residuaalinen syönti, rehuhyötysuhde, lihanauta, ultraääni, optimointi			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Maataloustieteiden osasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Tutkimus toteutettiin Luonnonvarakeskuksen (Luke) tutkimusasemalla Siikajoella. Työtä ohjasivat johtava tutkija Jaakko Mononen (Luke), yliopistonlehtori Seija Jaakkola, tutkimusprofessori Arto Huuskonen (Luke)			

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author Johanna Anttonen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Optimization of residual feed intake measurements in beef cattle			
Oppiaine — Läroämne — Subject Animal nutrition			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year April 2020	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 37 p.
Tiivistelmä — Referat — Abstract Residual feed intake (RFI) is a measurement method used in animals to determine feed efficiency. Improving feed efficiency has been found to be more cost-effective than maximizing daily gain. Determining the feed efficiency is laborious as the measurement periods are long and expensive. The problem is the limited capacity of the measuring devices in relation to the number of animals, because the animals daily dry matter intake (DMI), average daily gain (ADG) and metabolic body weight (MMBW) must be measured over a sufficiently long continuous period. The aim of the study was to optimize the measurement of residual feed intake to reduce workload. In this case, the costs of measurement would be lower, and the utilization rate of measuring equipment would be improved. The study sought a critical limit on the amount of data required. Measurements were removed from the data until it was found that the reliability of the results was affected. The hypothesis was that the fewer measurements and the shorter the measurement period, the greater the risk of error in the results. The study material included 105 dairy bulls and the experiment lasted 56 days. DMI was measured for each animal and the animals were weighed once a week during the experiment, a total of nine times (double weighings at the beginning, middle and end of the measurement period). The growth curves were used to calculate the ADG and MMBW of the animals. In addition, the area of the cross-section of the longissimus muscle (<i>M.longissimus dorsi</i>) and the thickness of the back fat of each bull were measured with an ultrasound device at the end of the experiment. RFI was calculated for seven different measurement periods. The original 56-day period was shortened to seven days at a time until the period was 28 days. Ultrasound measurements were added to the 56-day measurement period model only. In addition, the number of weighing was reduced from nine to five and three times from the original 56-day model. The addition of ultrasound measurements weakened the statistical model compared to the initial 56-day measurement period. The animal RFI results changed the most in the 28-day and 35-day models. The reliability of the results decreased the least in the 49-day and five-weighing models. The ADG and MMBW averages remained almost the same in the models until 35 days. The shorter the measurement period, the more the DMI values changed. Based on the results, shortening length of the RFI measurement period to 42 days had no market effect on the results. A 42-day measurement period is enough for DMI, but a longer measurement period is recommended for ADG. Three weighings did not change the ADG as much as the 49-day measurement period and was more reliable than the 42-day measurement period. Adding longissimus muscle and back fat to the RFI model did not improve the reliability of the model and thus did not provide added value. Based on this study, ultrasonic measurements are not required to determine RFI, and the workload can also be reduced by shortening the measurement period or reducing weighing times.			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Residual feed intake, feed efficiency, beef cattle, ultrasound, optimization			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Study was executed in Natural Resources Institute Finland (Luke), Siikajoki. The work was supervised by Principal Scientist Jaakko Mononen (Luke), University Lecturer Seija Jaakkola, Research Professor Arto Huuskonen (Luke).			

Sisällysluettelo

LYHENTEET JA SYMBOLIT	5
1 JOHDANTO	6
2 RESIDUAALINEN SYÖNTI	7
2.1 Fysiologisten tekijöiden vaikutus.....	8
2.2 Mittausjakson pituus	10
3 TAVOITTEET	13
4 AINEISTO JA MENETELMÄT	13
4.1 Koejärjestelyt	13
4.2 Koerehut ja ruokinta	14
4.3 Mittaukset.....	14
4.4 Tulosten laskenta ja tilastollinen analyysi	16
5 TULOKSET.....	19
5.1 Rehujen kemiallinen koostumus, syönti, päiväkasvu ja metabolinen elopaino.....	19
5.2 RFI mittaustulokset ja mallien vertailukriteerit	20
6 TULOSTEN TARKASTELU.....	25
6.1 Lähtötiedot ja RFI arvot	25
6.2 Mallien vertailu	27
6.2.1 Selitysasteen, korjatun selitysasteen ja informaatiokriteerien tulkinta muokatuissa malleissa	27
6.2.2 Lyhennetyt mallit: eläinten järjestysmuutokset	28
6.2.3 Viiden ja kolmen punnituksen mallit: eläinten järjestysmuutokset	29
6.2.4 Ruhonkoostumus mittaukset lisättynä 56 päivän malliin: eläinten järjestysmuutokset.....	29
7 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	30
8 KIITOKSET.....	31
9 LÄHTEET	31

LYHENTEET JA SYMBOLIT

DMI	kuiva-aineen syönti (dry matter intake)
ADG	keskimääräinen päiväkasvu (average daily gain)
MMBW	metabolinen keskipaino (mid-test metabolic body weight)
RFI	residuaalinen syönti (residual feed intake)
FUFAT	selkärasvan paksuus
FUREA	pitkän selkälihaksen poikkileikkauksen pinta-ala
VFA	haihtuvat rasvahapot
NDF	neutraalidetergenttikuitu
RV	raakavalkuainen
ME	muuntokelpoinen energia

1 JOHDANTO

Residuaalisen syönnin (RFI) mittauksella on tarkoitus löytää eläimet, jotka syövät rehua suhteessa vähemmän muihin eläimiin, mutta ovat tuotantotuloksiltaan kuitenkin hyviä (Koch ym. 1963). RFI:n mittaaminen on kallista ja vaativaa, sillä eläinten kuiva-aineen syönti (DMI) täytyy mitata päivittäin. Lisäksi täytyy tietää eläimen keskimääräinen päiväkasvu (ADG) ja metabolinen keskipaino (MMBW) (Culbertson ym. 2018). Syönnin mittaaminen onnistuu parhaiten automaattisilla ruokintakupeilla, jotka ovat arvokkaita verrattuna normaaliin ruokintaan (Wang ym. 2006). Tällä hetkellä automaattikuppeja on Suomessa lähinnä tutkimusnavetoissa ja yhdellä siitossonnikasvattamolla. Kuppien rajallisen määrän takia RFI:tä ei pystytä määrittämään kuin pienelle joukolle eläimiä.

Päiväkasvun ja elopainon määrittäminen on helpompaa kuin syönnin mittaaminen. Vaakalaitteita on yleisesti markkinoilla, vuokrattavissa ja usein tilallisilla aktiivisesti käytössä, etenkin emolehmä tiloilla, jotka kuuluvat tuotosseurantaan. Vaakojen hinnat ovat kohtuullisia. RFI tutkimuksissa päiväkasvun määrittämiseksi eläimet on usein punnittu viikoittain tai joka toinen viikko (Wang ym. 2006, Marzocchi ym. 2019). Työmäärällisesti se on paljon ja aikaa vievää, jos eläimiä on satoja kappaleita. Kun päiväkasvu määritetään pienemmällä määrällä punnituksia, työmäärä kevenisi, ja mittaaminen olisi käytännön tasolla mielekkäämpää. Optimoimalla mittausjaksoa olisi mahdollista mitata useammalta eläimeltä syönti, päiväkasvu ja elopaino sekä sitä kautta laskea RFI.

RFI:n optimoinnista on hyötyä etenkin emolehmätuotannossa. RFI arvot kannattaa määrittää jalostuksessa käytettäville eläimille, mutta ongelmana ovat teknologiset haasteet ja korkeat kustannukset (Seabury ym. 2017). Esimerkiksi Pohjois-Amerikassa ja Australiassa RFI:tä käytetään liharotuisten eläinten jalostuksessa (Pesonen 2010). RFI:tä ei ole aiemmin mitattu maitorotuisilta sonneilta ja ylipäätään sen käyttö Suomessa lihakarjalla on vähäistä. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli optimoida RFI:n määrittämistä, jotta työn määrä ja mittaamisesta aiheutuneet kustannukset olisivat pienempiä. Tämä tutkimus tehtiin osana laajempaa maitorotuisten sonnien koetta.

2 RESIDUAALINEN SYÖNTI

Suurin osa naudanlihantuotannon kustannuksista syntyy eläinten ruokinnasta. Andersonin ym. (2005) mukaan ruokinnan osuus on kaksi kolmasosaa tuotantokustannuksista. Suurin osa rehun mukana tulevasta energiasta käytetään lihanaudoilla ylläpitoon sekä aineenvaihduntaan ja pienin osuus kasvuun. Lehmillä energiaa kuluu myös tiineyteen ja maidontuotantoon (McDonald ym. 2011). Karjan rehun hyväksikäyttöä optimoimalla voidaan pienemmällä rehukustannuksella parantaa tuotannon kannattavuutta. Kasvavilla nuorilla eläimillä vaihtelu hyvän ja huonon rehuhyötysuhteen eläinten välillä on ollut 15 % ja tiineillä lehmillä 25 % (Kenny ym. 2018). Eläinten rehuhyötysuhteen parantaminen on taloudellisesti hyödyllisempää kuin päiväkasvun maksimointi (Okine ym. 2003).

Perinteinen tapa määrittää eläimen rehutehokkuutta on laskea kulutettu rehumäärä suhteessa ruhon painoon. Tämä on ollut tehokas tapa löytää karjasta korkeimmat päiväkasvut. Seurauksena on kuitenkin ollut lehmien elopainon nousu, kun on tähdätty vasikoiden korkeisiin vieroitus- ja vuodenpainoihin. Lehmien korkea elopaino lisää rehukustannuksia ja poikimavaikeuksia (Seabury ym. 2017).

Rehuhyötysuhteen käsitteen lihakarjalle määritti ensimmäisenä Koch ym. (1963). Residuaalinen syönti määritetään eläimen todellisen syönnin ja arvioidun syönnin erotuksena saavutettua tuotantotulosta kohden. Kochin ym. (1963) mukaan rehun arvioitua syöntiä voidaan määrittää elopainon ja päiväkasvun avulla. Eläimet jaetaan kahteen ryhmään, korkeaan rehuhyötysuhteeseen, jolloin eläin saa negatiivisen RFI arvon tai matalaan hyötysuhteeseen, jolloin eläin saa positiivisen RFI arvon. Negatiivisen arvon saaneet eläimet ovat tuotannollisesti parempia eläimiä, sillä niiden syönti on pienempi suhteessa kokoon ja tuotantoon.

Residuaalinen syönti on riippumaton eläimen kasvusta ja koosta. Tämän myötä mittausmenetelmää voidaan käyttää nuorilla kasvavilla eläimillä. RFI:n vaihtelu eri eläinten välillä heijastaa todennäköisesti tavallisia metabolisia toimintoja, joten residuaalista syöntiä voidaan käyttää myös verrattaessa eritasoisia eläimiä toisiinsa (Montanholi ym. 2009). Esimerkiksi Culbertsonin ym. (2018) tutkimuksessa samassa aineistossa käsiteltiin hiehoja, härkiä ja sonneja. On myös mahdollista, että rehuhyötysuhdetta voitaisiin käyttää tulevaisuudessa genomisessa

valinnassa. Seaburn ym. (2017) mukaan on löydetty kvantitatiivisia ominaisuuksia (QTL), mitkä liittyvät RFI:hin ja sen määrittämiseen.

Hyvän rehuhyötysuhteen eläinten metaanipäästöt on havaittu olevan pienempiä kuin huonon rehuhyötysuhteen eläimillä (Jones ym. 2011, Fitzmons ym. 2013), mutta Kennyn ym. (2018) mukaan tällä hetkellä on vain vähän tietoa siitä, onko paremman rehuhyötysuhteen eläimillä todellisuudessa pienemmät metaanipäästöt. McDonnell ym. (2016) eivät havainneet eroavaisuuksia hiehojen metaanipäästöissä RFI ryhmien välillä. Metaanipäästöjen erot eri tutkimusten välillä voivat johtua enemmän eläinten DMI:n vaihtelusta, kuin suorasta yhteydestä RFI:hin (Kenny ym. 2018).

2.1 Fysiologisten tekijöiden vaikutus

Eläimen rehuhyötysuhteeseen vaikuttaa viisi päätekijää; rehun syönti, sulatus (siihen liittyvä energian kulutus), aineenvaihdunta (anabolia ja katabolia), aktiivisuus ja lämmönsäätely. Eläinten syömästä rehun muuntokelpoisesta energiasta 9 % muuttuu lämmöksi. Eläimestä siirtyy lämpöä johtumalla kiinteään tai liikkuvaan väliaineeseen, säteilemällä ja veden haihtumisen mukana (McDonald ym. 2011). On tutkittu lampailla, että suolisto tuottaa 40 % tästä lämmöksi muuttuvasta energiasta. Loppuosa tuotetaan kudoksissa tapahtuvissa metabolisissa reaktioissa (Webster ym. 1975).

Herd ja Arthur (2009) totesivat eläinten välillä olevan enemmän variaatiota lämmöntuotossa kuin ruhon koostumuksessa. Heidän mukaansa metabolialla on todennäköisesti keskeinen rooli eläinten rehuhyötysuhteen parantamisessa. Hyvän rehuhyötysuhteen eläinten ruhossa on vähemmän rasvaa ja enemmän proteiinia ja tämä ominaisuus periytyy myös jälkeläisille. Richardson ym. (2001) kuitenkin havaitsivat, että korrelaatio oli heikko, ja ruhon koostumus selitti alle 5 % RFI:n vaihtelusta jälkeläisillä. Suurin osa eroavaisuuksista (95 %) johtui metabolisista eroavaisuuksista eläimillä. Kokeessa huonon rehuhyötysuhteen omaavien eläinten syönti oli 5 % suurempi, ja tämän ylimääräisen energian härät poistivat lämpönä (Richardson ym. 2001). Suurin ero hyvän ja huonon rehuhyötysuhteen eläimillä tapahtuu proteiinien hajoamisessa ja synteesissä lihaksessa (Richardson ym. 2004, Arthur ja Herd 2009). Kun metabolia toimii hyötysuhteeltaan paremmin, ei eläimet muuta energiaa niin paljon hukkalämmöksi.

Ympäristö ja perinnölliset tekijät voivat altistaa eläimen stressille, mikä huonontaa mahdollisesti rehuhyötysuhdetta (Richardson ym. 2004). Stressin vaikutusta RFI:hin on tutkittu tarkastelemalla eläinten endokrinologisia vasteita. Stressi laukaisee eläimessä hypotalamus-aivolisäke-lisämunuais-akselin (HPA) aktivaation ja tästä seuraa glukokortikoidien vapautuminen lisämunuaisen kuorikerroksesta verenkiertoon. Tämän seurauksena eläimen aineenvaihdunta kiihtyy, ja nopeutunut aineenvaihdunta voi vaikuttaa ruokahaluun ja energian jakaantumiseen sekä sen hyödyntämiseen. Kataboliset reaktiot voivat lisääntyä, kuten proteiinien hajoaminen ja lipolyysi. Näillä reaktioilla on vaikutusta eläimen energiatehokkuuden säätelyyn (Kelly ym. 2017).

RFI:n ja HPA-akselin toiminnan yhteyksiä selvittäneissä tutkimuksissa tulokset ovat olleet kuitenkin ristiriitaisia. Montanholin ym. (2010, 2013) tutkimuksissa mitattiin hiehoilta lisämunuaisen kuorikerroksen aktiivisuutta: pitkän ajan stressivastetta kuvaava ulosteen kortisolimetaboliittipitoisuus (faecal cortisol metabolites, FCM) ja lyhyen ajan stressivastetta kuvaava plasman kortisoli (plasma cortisol, PC). Hyvän rehuhyötysuhteen eläimillä oli korkeampi FCM ja PC oli kaikilla ryhmillä sama. FCM tulosten mukaan korkea paremman rehuhyötysuhteen (matalan RFI:n) eläimillä on korkeampi kortisolin perustuotanto. Foote ym. (2016) havaitsivat kuitenkin, että sekä veren kortisoli että ulosteen kortikosteroni korreloivat positiivisesti RFI:n kanssa. Kellyn ym. (2017) tutkimuksessa puolestaan aktivoitiin hiehojen HPA-akselia keinotekoisesti adrenokortikotropiinihormonilla (ACTH), ja mitattiin kortisolia verestä tämän jälkeen. Huonon rehuhyötysuhteen (korkea RFI) hiehoilla oli kohonnut herkkyys eksogeeniselle ACTH:lle. Kortisolivaste ACTH:hon myös korreloi positiivisesti RFI:n kanssa ($r^2=0,32$ ja $p<0,01$). Tulokset siis tukivat Foote ym. (2016) tuloksia.

Myös rauhallisilla eläimillä on havaittu olevan parempi rehuhyötysuhde, ja tähän vaikuttaa eläimen tekemä työ rehun syömiseen, märehkimiseen ja liikkumiseen. (Richardson ym. 2001) Paremman RFI:n eläimet syövät saman verran rehua kuin muut, mutta syövät pidempään ja useammin kuin huonomman RFI:n eläimet. Kennyn ym. (2018) mukaan hyvän rehuhyötysuhteen naudat söivät keskimäärin 10 minuuttia kauemmin kuin huonon rehuhyötysuhteen naudat.

2.2 Mittausjakson pituus

Eläinten yksilöllisten syönnin ja paino mittausten tekeminen on kallista ja aikaa vievää, ja näin ollen residuaalinen syönti pystytään määrittämään vain pienelle määrällä eläimiä. Tavallisessa tilanteessa tutkimuksissa residuaalinen syönti määritetään eläimelle mittaamalla päivittäinen kuiva-aineen syönti, keskimääräinen päiväkasvu ja metabolinen keskipaino. Growsafe-laitteisto on yleisesti käytössä ympäri maailmaa tutkimusasemilla ja jalostusohjelmissa, kun mitataan eläinten rehun syöntiä ja RFI:tä (Marzocchi ym. 2019). Growsafe suosittaa kaupallisissa mittauksissa vähintään 49 pv:n pituutta DMI:lle ja ADG:lle. 49 pv:n jaksolla eläimet punnitaan aina kun eläin käy syömässä, ja tämä on toteutettu GSB punnitusalueella. GSB-punnitusalue on puolet lyhyempi kuin perinteinen eläinvaaka, ja se punnitsee pelkästään eläimen etupään painon. GSB-punnitusalue on sijoitettu eläimen ruokintakupin eteen, jolloin eläin seisoo punnitusalueen päällä, kun eläin tulee syömään. GSB alusta vähentää viikoittaisen punnityön pois, mikä normaalisti olisi tehtävä RFI:n määrittämiseksi. Growsafe käyttää vaihtoehtoisesti RFI:n mittaamiseen myös pidempää 70 pv:n syöntijaksoa. Tällöin eläimet punnitaan alussa ja lopussa peräkkäisinä päivinä, sekä kerran puolivälissä mittausjaksoa. Molemmissa malleissa eläimet täytyy totuttaa ruokintaan ja laitteisiin 10-14 pv:n ajan ennen varsinaisen mittauksen alkua (Lansink ym. 2018).

Marzocchin ym. (2019) ja Ahlbergin ym. (2018) mukaan sopiva testin pituus ADG:lle RFI määrittämisessä olisi 70-71 pv. Wangin ym. (2006) tutkimuksessa päädyttiin lyhyempään testin pituuteen eli 63 pv:ään. ADG mittaukset oli toteutettu tutkimuksissa eri tavalla. Wang ym. (2006) punnitsi eläimet seitsemän päivän välein ja Marzocchi ym. (2019) sekä Ahlberg ym. (2018) 14 pv:n välein. Punnitusväli voi mahdollisesti vaikuttaa lopputulokseen suosituksesta mittausjakson pituudeksi. Wang ym. (2006) totesikin tutkimuksessaan, että jos punnitukset on toteutettu viikoittain, voidaan RFI:n mittausjakson pituutta lyhentää enemmän. Culbertson ym. (2018) suosittivat ADG:n minimi testipituudeksi 56 pv.

Aiempien tutkimusten pohjalta DMI:n mittausjakson minimi pituudeksi RFI:n määrittämiseksi on suositeltu 35-43 pv (Wang ym. 2006, Culbertson ym. 2015, Cassady ym. 2016, Manafiazar ym. 2017, Marzocchi ym. 2019). Cassadyn ym. (2016) mukaan DMI voidaan mitata 35 pv:n

mittausjaksolla riippumatta eläimen kasvuvaiheesta, mutta tarkin tulos saadaan, kun syönti mitataan kasvun loppuvaiheessa tai juuri ennen teuraskypsyyttä.

Culbertson ym. (2018) tutkimuksessa verrattiin lyhennetyllä aikaperiodilla määritettyjä kuiva-aineen syöntiä, päiväkasvua ja RFI:tä 70 pv:n pituiseen kokeeseen. Johtopäätöksenä oli, että DMI testiperiodi voidaan lyhentää 42 pv:ään laskelmien onnistumiseksi, mutta luotettavien RFI tulosten saamiseksi testiperiodin pituudeksi suositellaan 56 pv. Syönnin mittaamisen onnistumiseen vaikuttaa myös automaattikuppien toimintavarmuus ja häiriöt, mistä voi aiheutua aukkoja dataan.

Lopullinen suositeltu testin pituus RFI:n määrittämiseksi vaihteli eri tutkimuksissa seuraavasti: Culbertson ym. (2018) 56 pv, Wang ym. (2006) 63 pv, BIF (2018), 70 pv ja Marzocchi ym. (2019) 71 pv. Kaikkien edellä mainittujen tutkimusten mukaan ADG oli ongelma RFI:n mittaamisen tehostamiseksi. Cassady ym. (2016) pohtivat, että RFI testit olisivat tarkempia, jos eläinten syntymä, vieroitus ja vuodenpainoja käytettäisiin hyväksi ADG määrittämisessä. Samalla käytettäisiin lyhennettyä mittausjaksoa DMI:n määrittämiseksi. Yleensä ADG ja DMI on määritetty samalta koejaksolta rinnakkain. Growsafe-laitteisto valmistajan suositusten mukaan, 49 pv riittää RFI:n määrittämiseen, kun ADG:n laskemiseksi eläimet punnitaan päivittäin, ja jos punnituksia on vähemmän, vaaditaan pidempi syönnin mittausjakso (70 pv). Tämä on hieman ristiriidassa muiden tutkimusten kanssa, joissa on päädytty selkeästi siihen, että DMI:lle riittää huomattavasti lyhyempi jakso kuin ADG:lle. Manafiazarin ym. (2017) tutkimuksessa RFI määritettiin erimittaisilta DMI ja ADG jaksoilta. DMI mittausjakson pituutta voidaan lyhentää 42 päivään, jos RFI:n määrittämisessä käytetään myös selkärasvan paksuutta ja vähintään 30 onnistunutta DMI mittauspäivää ja punnitukset on tehty alussa, lopussa ja aina 14-28 vuorokauden välein kokeen aikana. Manafiazarin ym. (2017) tutkimuksessa ADG oli mitattu 84 päivän jaksolta.

Aiempien tutkimusten mukaan metabolisen painon mittaaminen ei ole ollut kriittinen tekijä mittausjakson optimoimisessa. Marzocchin ym. (2019) mukaan MMBW määrittämiseksi riittäisi minimissään 15 päivää, sisältäen kaksi punnituskertaa. Aiemman kirjallisuuden mukaan MMBW:tä varten ei ole yleensä tehty erillisiä punnituksia, vaan sen määrittämisessä käytetään ADG:n laskentaa varten määritettyä kasvusuoraa (Wang ym. 2006, Manafiazar ym. 2017, Culbertson ym. 2018, Marzocchi ym. 2019).

2.3 Rasvapitoisuus ja lihaksen pinta-ala

Joidenkin aiempien tutkimusten mukaan eläimillä, joilla on enemmän ihonalaista rasvaa, on huono RFI (Lancaster ym. 2009, Kelly ym. 2017). Tutkimuksissa on havaittu positiivista korrelaatiota ruhon rasvapitoisuuden ja RFI:n välillä. RFI:n ja rasvapitoisuuden välinen korrelaatio on voimakkaampi nuorilla kasvavilla eläimillä kuin tiineillä lehmillä. Niillä ruhon rasvapitoisuuden ja RFI:n välinen yhteys on erityisen heikkoa, koska eläimet eivät itse juuri kasva ja ovat karkearehuvallaisella dieetillä (Kenny ym. 2018). Arthurin ym. (2001) mukaan yhteys ruhon rasvapitoisuuden ja RFI:n välillä on positiivinen. Arthurin ym. (2003) tutkimuksen mukaan rasvan paksuuden ja RFI välillä oli hyvä korrelaatio, mutta ei ole järkevää sisällyttää ruhon koostumus määrityksiä mukaan RFI:n mittaamiseen, koska sen vaikutus eläinten fenotyyppiseen järjestykseen ei ole riittävän vahva. Maon ym. (2013) mukaan yhteys on heikko ja lähellä nollaa ja Fitzsimonsin ym. (2014) mukaan yhteyttä ei ollut.

Manafiazarin ym. (2017) mukaan selkärasvan paksuus selittäisi 2-5% DMI:n vaihtelusta eläimillä. Fitzsimonsin ym. (2014) mukaan kylkirasva, selkärasva ja takapaistin rasvan paksuus eivät vaikuttaneet RFI:hin. Nämä löydökset ovat vastaavia kuin Montanhonin ym. (2009) tutkimuksessa, missä ei havaittu eroavaisuuksia kokeen puolivälissä selkärasvassa korkean, keskinkertaisen ja matalan RFI arvon saaneiden risteytysosien välillä. Ristiriitaiset raportit fenotyyppisen RFI:n ja ihonalaisen rasvan yhteydestä voivat liittyä eri rotujen välisiin eroihin rasvan sijainnissa ja syvyydessä sekä eroihin ultraäänimittausten suorittamisessa (Kelly ym. 2017).

Cruzin ym. (2010) mukaan *M.longissimus dorsi* -lihaksen (pitkä selkälihas) pinta-alalla ei ole vaikutusta RFI:hin. Mao ym. (2013) päätyi samankaltaisiin tuloksiin, sillä tutkimuksen mukaan RFI:llä ja lihaksen poikkileikkauksen pinta-alalla olisi vain heikko fenotyyppinen korrelaatio angus- ja charolais- härillä. Herd ja Arthur (2009) arvelivat lihaksen pinta-alan eroavaisuuksien johtuvan RFI:ssä enemmän lihaskudoksen metabolisista prosesseista kuten proteiinien hajoamisesta.

3 TAVOITTEET

Tutkimuksen tavoitteena on optimoida rehuhyötysuhteen mittaamista, koska se on hyvin työlästä. Mittaamisesta aiheutuvat kustannukset olisivat pienemmät ja mittauslaitteiden käyttöaste paranisi, jos suurempi määrä eläimiä pystyttäisiin mittaamaan samassa ajassa. Tutkimuksen tavoitteena oli etsiä kriittinen raja tarvittaville syönti-, päiväkasvu-, ja elopaino tietojen määrälle, jolloin RFI tulokset olisivat vielä luotettavia. Tämä tarkoittaa vähemmän ja lyhyempiä mittauksia, mikä lisää myös mahdollisen virheen ja epätarkkuuden riskiä. Hypoteesi oli, mitä vähemmän mittauksia ja lyhyempi mittausjakso, sitä suurempi on riski virheeseen ja luotettavuuden heikkenemiseen tuloksissa.

Lisäksi tutkittiin tuottavatko ultraäänimittauksien (pitkän selkälihaksen poikkipinta-ala ja selkärasvan paksuus) lisääminen RFI malliin lisäarvoa.

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1 Koejärjestelyt

Tutkimus tehtiin osana laajempaa koetta, ja se toteutettiin Luonnonvarakeskuksen Siikajoen toimipisteessä (64°44'N, 25°15'E). Residuaalisen syönnin mittauksen koe alkoi 25.9.2018 ja päättyi 21.11.2018. Kokeen varsinainen kesto oli 56 vuorokautta. Eläimet olivat saapuneet tutkimusasemalle 10.9.2018. Niillä oli ennen kokeen alkua 15 pv:n pituinen totutusjakso, jonka aikana eläimet totutettiin uusiin olosuhteisiin ja ruokintaan. Tutkimuksessa noudatettiin Suomen koe-eläinlainsäädäntöä. Koe-eläiminä oli 110 kappaletta maitorotuisia sonneja (55 kpl ayrshire ja 55 kpl holstein) ja sonnit olivat kokeen alussa keskimäärin iältään 187 ± 7 pv ja keskipainoltaan 263 ± 24 kg. Eläimet hankittiin A-tuottaja Oy:n eläinvälityksen kautta.

Tutkimus toteutettiin kylmäpihatossa viiden eläimen ryhmä karsinoissa. Karsinoiden mitat olivat 10 m x 5 m eli tilaa oli 10 m² per/eläin. Sonnien karsinan pinta-alasta puolet oli oljilla kuivitettu makuualue ja toinen puoli oli kiinteä betonipohjainen ruokintakäytävä. Kaikissa karsinoissa oli juomakuppi, josta sonnit saivat vapaasti käydä juomassa. Jokaisessa karsinassa oli kaksi GrowSafe ruokintakaukaloa, jotka mittasivat rehunkulutuksen automaattisesti (ks. myöhemmin).

4.2 Koerehut ja ruokinta

Sonnien ruokinta toteutettiin seosrehuruokintana, jossa seoksen kuiva-aineesta 50 % oli nurmisäilörehua, 48,5 % litistettyä ohraa ja 1,5 % kivennäis-vitamiiniseosta (Kasvuape E-Hiven, A-Rehu Ltd., Seinäjoki, Suomi). Sonnit saivat seosrehua ja vettä vapaasti. Seosrehu valmistettiin seosrehuvaunulla (Trioliet, BW Oldenzaal, Alankomaat), jolla rehu jaettiin ruokintakaukaloihin.

Nurmisäilörehu korjattiin Luken Siikajoen toimipisteessä kesällä 2018 timoteikasvustosta (*Phleum pratense* cv. Tuure). Kasvusto niitettiin niittomurskaimella (Elho 280 Hydro Balance, Oy Elho Production Ab, Pännäinen, Suomi), karhotus tehtiin yksiroottorisella karhottimella (Pöttinger) ja rehu korjattiin pyöröpaaleihin käärivällä paalaimella (McHale Fusion 3, McHale, Ballinrobe, Co. Mayo, Irlanti) noin 24 h niiton jälkeen. Korjuun yhteydessä säilörehu säilöttiin muurahaishappopohjaisella säilöntäaineella (AIV ÄSSÄ; Taminco Ltd, Oulu, Suomi), jota käytettiin 5 litraa tonnille tuoretta rehua.

4.3 Mittaukset

Säilörehupaaleista kerättiin kokeen aikana kahdesti viikossa osanäytteet, mitkä pakastettiin -20°C:ssä. Kokeen lopussa yhteisnäytteistä analysoitiin kuiva-aine, raakavalkuainen (RV), tuhka, neutraalidetergenttikuitu (NDF), *in vitro* -sulavuus ja säilörehun säilönnällinen laatu, mihin kuului vesiliukoiset hiilihydraatit, pH, liukoinen-N ja ammonium-N, maito-, ja muurahaishapon yhteispitoisuus ja haihtuvat rasvahapot (VFA). Ohrasta kerättiin ruokintajakson aikana viikoittain osanäytteitä, mitkä yhdistettiin keskenään. Yhteisnäytteestä analysoitiin kuiva-aine, tuhka, RV, NDF ja raakarasva.

Rehunäytteiden primäärinen kuiva-ainepitoisuus määritettiin kuivaamalla näytteitä lämpökaapissa 105°C:ssa 20 tuntia ja kuiva-aine pitoisuus korjattiin Huidan ym. (1986) mukaisesti. Rehunäytettä tuhkattiin (AOAC 942.05) 600°C:ssa uunissa kaksi tuntia. Kuiva-aine näytteet jauhettiin (Sakomylylly KT3100, Koneteollisuus Ltd., Helsinki, Suomi) yhden mm:n seulalla kemiallisia analyysejä varten. Typpipitoisuus määritettiin Dumasin menetelmällä (Leco FP428 typpianalysaattori, Leco Corporation, St Joseph, USA) ja RV-pitoisuus saatiin kertomalla typpipitoisuus luvulla 6,25. Raakarasva määritettiin (AOAC 920.39) Soxtec-laitteella. NDF analysoitiin Van Soestin ym. (1991) mukaan ja NDF ilmoitettiin tuloksissa ilman jäännöstuhkaa. D-arvo laskettiin määrittämällä ensin

in vitro sulavuus pepsiinisellulaasimenetelmällä Nousiaisen ym. (2003) mukaan, minkä jälkeen sellulaasiliukoisuus muunnettiin vastaamaan *in vivo* sulavuutta Huhtasen ym. (2006) mukaan.

Suurin osa rehunäytteiden analyyseistä toteutettiin Luken Jokioisten laboratoriossa, mutta käymislaatua koskevat analyysit toteutettiin Valion Seinäjoen laboratoriossa.

Syönnin mittaaminen toteutettiin GrowSafe-laitteistolla, (GrowSafe systems model 4000E; GrowSafe Systems Ltd., Airdrie, AB, Kanada). Jokaisella eläimellä oli elektroninen korvamerkki, mistä laitteisto tunnisti ruokintakaukalolle syömään tulevan eläimen. Laitteisto rekisteröi eläimen tunnistetiedot sekä ruokakupin rehun määrän syönnin alussa ja lopussa. Laitteisto mahdollisti rehun syönnin automaattisen ja jatkuvan mittaamisen.

Punnitusjakso alkoi 25.9. ja loppui 21.11. Sonnit punnittiin kokeen aikana viikoittain. Kokeen alussa, puolivälissä ja lopussa eläimet punnittiin peräkkäisinä päivinä. Näin ollen sonnit punnittiin yhteensä 12 kertaa. Eläinten käsittelyä varten tutkimuspihatossa oli HiHog-käsittelyjärjestelmä, mikä koostui eläinten ajokujasta ja käsittelyhäkistä, ja jossa varsinainen punnitus tapahtui. Punnituksessa käytettiin Trutest-punnituslaitteistoa, johon kuului vaaka ja lukijapaneeli. Eläinten punnitustulos kirjattiin 0,5 kg:n tarkkuudella. Lukijapaneeli tunnisti eläimen elektronisen korvamerkin avulla. Eläimen tiedot yhdistyivät automaattisesti punnitustuloksen kanssa.

Ultraäänimittaukset toteutettiin Pie 200 SLC (FPS 8; DFR 2-4 tuumaa) mallisella laitteella, mikä oli varusteltu QUIP (Quality Ultrasound Indexing Program) ohjelmistolla (Version 2.6) ja ASP-18 muuntimella (3,5 MHz). Laite kalibroitiin ennen jokaista käyttökertaa valmistajan ohjeiden mukaan (Classic Medical Inc., Tequesta, FL, USA). Laitteen käytössä noudatettiin Greshamin (1996) käyttöohjeita. Tutkimuksessa käytetty ultraäänilaitte (Pie Medical Esaote MyLabOne Vet) oli varusteltu eläinten tutkimuskäyttöön tarkoitetulla 180 mm pitkällä ja 3.5 MHz anturilla. Ultraäänilaitteella mitattiin pitkän selkähaksen (*M.longissimus dorsi*) poikkileikkauksen pinta-ala (tarkkuus 0,01 cm²) ja selkärasvan paksuus (tarkkuus 0,01 cm) ensimmäisen lannenikaman kohdalta. Ultraäänikuvat siirrettiin tietokoneelle ODT ohjelmistolle (Open Data Transfer; Esaote Pie Medical, Genoa, Italy). Kuvien analyysit toteutettiin Aassin ym. (2009) mukaan.

4.4 Tulosten laskenta ja tilastollinen analyysi

Nurmisäilörehun orgaanisen aineksen pitoisuus laskettiin vähentämällä tuhka kuiva-aineen määrästä.

Nurmisäilörehun sulavan orgaanisen kuiva-aineen pitoisuus (D-arvo) laskettiin seuraavasti: orgaanisen aineen sulavuus *in vitro* x orgaanisen aineen pitoisuus (g/kg ka)

Nurmisäilörehun muuntokelpoinen energia (ME) laskettiin seuraavasti:
 $0,016 \times \text{D-arvo (MAFF, 1975)}$

Nurmisäilörehun ohutsuolesta imeytyvät aminohapot (OIV) ja pötsin valkuaistase (PVT) laskettiin suomalaisen valkuaisarvojärjestelmän mukaan (Luke 2020).

Ohran ME-sisältö laskettiin sulavista ravintoaineista kaavalla (Luke 2020):
 $(15,2 \times \text{srv} + 34,2 \times \text{srr} + 12,8 \times \text{srk} + 15,9 \times \text{stua})/1000$

srv = sulava raakavalkuainen (g/kg ka), srr= sulava raakarasva (g/kg ka), srk = sulava raakakuitu (g/kg ka), stua = sulavat typettömät uuteaineet (g/kg ka)

Säilörehun syönti-indeksi laskettiin Huhtasen ym. (2007) mukaan.

Tulosten tilastollinen analysointi tehtiin SAS-ohjelmistolla (versio 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Aineistosta poistettiin yksi eläin (1134), jonka syönti oli mittausjaksolla poikkeuksellinen eli epärealistisen suuri. Lisäksi poistettiin eläimiä tekemällä RFI:n määrittämisen yhteydessä (ks. myöhemmin) BOX-PLOT analyysi (SAS 9.4 PROC REG, UNIVARIATE ja MEANS proseduurit). Aineistosta etsittiin poikkeavia havaintoja (outliers) eli Box plot -kuvaajalaatikon viiksien ulkopuolella olevia havaintoja. Näitä oli yhteensä neljä kappaletta ja ne poistettiin varsinaisista analyyseistä, joten lopullinen eläinmäärä tutkimuksessa oli 105.

Jokaiselle eläimelle mallinnettiin lineaarisella regressiolla yksilöllinen kasvukäyrä punnitustietojen perusteella verrattuna koejakson päiviin, jolloin saatiin eläinten ADG ja alkupaino (BW₀). Mallinnus tehtiin SAS 9.4 PROC REG proseduurilla.

BW₀ ja ADG käytettiin keskipainon laskemiseen kokeen puolivälissä. Kokeen aikainen metabolinen keskipaino (mid-test metabolic body weight, MMBW) saatiin korottamalla keskipaino potenssiin 0,75. Kaavana:

$$MMBW = (w_0 + ADG \times pv)^{0,75}$$

missä w_0 =alkupaino, ADG =keskimääräinen päiväkasvu, pv = puolet kokeen pituudesta päivinä

RFI määritettiin SAS 9.4 PROC REG -proseduurilla, missä perusmallissa DMI:tä selittivät ADG ja MMBW. Laajemmassa mallissa selittäviksi muuttujiksi lisättiin myös selkärasva (FUFAT) ja pitkän selkälihaksen poikkipinta-ala (FUREA).

Perusmallin arvioitu kuiva-aineen syönti saatiin laskettua seuraavasti:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 ADG + \beta_2 MMBW$$

Y =arvioitu kuiva-aineen syönti, β_0 =yhtälön vakiotermi, β_1 ja β_2 yhtälön regressiokertoimia, MMBW=kokeen keskimääräinen metabolinen elopaino ja ADG =keskimääräinen päiväkasvu.

RFI laskettiin vähentämällä eläimen todellisesta syönnistä (DMI) arvioitu syönti (Y).

$RFI = DMI - Y$

Kaiken kaikkiaan RFI laskettiin kahdeksalla eri mallilla:

1. Täydellisessä perusmallissa mittausjakson pituus oli 56 päivää. Tämä malli toimi vertailupohjana muille malleille.
2. 56 päivän perusmalliin lisättiin ultraäänitutkimukset pitkän selkälihaksen poikkileikkauksen pinta-ala (FUREA) ja selkärasvan paksuus (FUFAT).

3. Mittausjaksoa lyhennettiin viikko kerrallaan kokeen loppupäästä eli RFI laskettiin neljälle lyhennetylle mittausjaksolle 49, 42, 35, 28 päivää (ilman rasva-, ja lihastuloksia) (Taulukko 1).
4. Datasta vähennettiin punnitusten lukumäärää. Täydellisessä perusmallissa punnituksia oli yhdeksän, sekä lisäksi mittausjakson alun, puolivälin-, ja lopun tuplapunnitukset (yhteensä 12 punnitusta). Tuplapunnituksista käytettiin keskiarvoa kaikissa malleissa, joten viikkojen 0, 4, 8 painot ovat aina keskiarvoja kahdesta punnituksesta. Perusmallissa punnitukset tapahtuivat kerran viikossa (Taulukko 1). Viiden punnituskerran mallissa on karsittu joka toinen viikko pois. Kolmen punnituskerran mallissa on mukana vain alku, puoliväli-, ja loppupunnitukset.

Taulukko 1. Muokattujen mallien punnituskerrat

	56 pv perusmalli	49 pv	42 pv	35 pv	28 pv	5 punnitusta	3 punnitusta
Vk 0	Paino_0	Paino_0	Paino_0	Paino_0	Paino_0	Paino_0	Paino_0
Vk 1	Paino_1	Paino_1	Paino_1	Paino_1	Paino_1		
Vk 2	Paino_2	Paino_2	Paino_2	Paino_2	Paino_2	Paino_2	
Vk 3	Paino_3	Paino_3	Paino_3	Paino_3	Paino_3		
Vk 4	Paino_4	Paino_4	Paino_4	Paino_4	Paino_4	Paino_4	Paino_4
Vk 5	Paino_5	Paino_5	Paino_5	Paino_5			
Vk 6	Paino_6	Paino_6	Paino_6			Paino_6	
Vk 7	Paino_7	Paino_7					
Vk 8	Paino_8					Paino_8	Paino_8

pv=päivää, vk=viikko, paino=punnituskerta

Mallien hyvyyden arvioinnissa käytettiin informaatiokriteerejä ja R^2 -arvoja, jotka analysoitiin SAS 9.4 PROC MIXED, UNIVARIATE ja MEANS proseduureilla. RFI-arvojen vertailut tehtiin aina 56 päivän perusmalliin. Vertailuissa käytettiin Spearmanin ja Pearsonin korrelaatioita sekä Cochranin kappaa, jotka analysoitiin ohjelmistolla IBM SPSS Statistics software for Windows versiolla 25. Kappa-analyysyjä varten 105 eläimen joukko jaettiin RFI järjestyksen mukaan kolmeen 35 eläimen joukkoon: alhaisen RFI:n, keskitason RFI:n ja korkean RFI:n eläimet. Tällainen kolmijako on tyypillinen aiemmissa RFI tutkimuksissa (Nkrumah ym. 2006, Montanholi ym. 2009).

5 TULOKSET

5.1 Rehujen kemiallinen koostumus, syönti, päiväkasvu ja metabolinen elopaino

Kokeessa käytetyn nurmisäilörehun, ohran ja seosrehun kemiallinen koostumus, rehuarvot sekä nurmisäilörehun säilönnällinen laatu esitetty taulukossa 2. Kokeessa käytetyn nurmisäilörehun D-arvo 645 g/kg ka oli melko matala, mikä heijastui nurmisäilörehun muuntokelpoiseen energiaan (ME 10,4 MJ/kg ka). Nurmisäilörehun säilönnällinen laatu oli hyvä, mistä kertoo riittävän alhainen pH (3,79) ja alhainen ammoniumtypen määrä (43 g/kg N). Seosrehussa käytetyn ohran laatu oli energia-arvoltaan hyvä (ME 12,6 MJ/kg ka), samoin kuin rehuseoksen energia-arvo (11,5 MJ/kg ka). Seosrehun raakavalkuainen (118 g/kg ka) jäi hieman alhaiseksi.

Taulukko 2. Kokeessa käytetyn nurmisäilörehun, ohran ja seosrehun kemiallinen koostumus, rehuarvot sekä nurmisäilörehun säilönnällinen laatu

	Nurmisäilörehu	Ohra	Seosrehu
Koostumus			
Kuiva-aine g/kg	292	884	438
Raakavalkuainen g/kg ka	113	122	118
Kuitu (NDF), g/kg ka	512	189	351
Sulavan orgaanisen aineen pitoisuus kuiva-aineessa (D-arvo) g/kg ka	645	189	
Rehuarvot			
Muuntokelpoinen energia, MJ/kg ka	10.4	12.6	11.5
Ohutsuolesta imeytyvä valkuainen g/kg ka	75	94	85
Pötsin valkuaistase, g/kg ka	1	-17	-8
Säilörehun syönti-indeksi	97		
Säilörehun säilönnällinen laatu			
pH	3.79		
Haihtuvat rasvahapot, g/kg ka	18		
Maito- ja muurahaishappo, g/kg ka	47		
Sokerit, g/kg ka	120		
Ammonium-N, g/kg N	43		

Residuaalisen syönnin laskennan eri mallien lähtötiedot on esitetty taulukossa 3. Eläinten DMI oli korkeampi 56 pv:n perusmallissa verrattuna lyhennettyihin mittausjaksoihin. DMI oli sitä pienempi, mitä lyhyempi mittausjakso oli. Selkeämpi ero tulee 56 pv:n ja 28 pv:n keskiarvoissa, missä 28 pv:n DMI on 410 g pienempi kuin 56 pv:n perusmallissa. Viiden ja kolmen punnitusjaksojen syöntiä ei muokattu, joten se oli sama kuin 56 pv:n perusmallissa.

Keskimäärin päiväkasvut erosivat muutamia grammoja (1-3g) eri mittausjaksojen välillä. Keskihajonta suureni mittausjakson lyhentämisen myötä. Viiden ja kolmen punnitusjaksojen ADG keskiarvot ja keskihajonta olivat lähellä 56 pv:n perusmallia. Lyhennetyistä malleista 28 pv:n ja 35 pv:n mallit erosivat eniten 56 pv:n perusmallin arvoista.

Mitä lyhyempi mittausjakso oli sitä enemmän MMBW:n keskiarvo ja keskihajonta pienenevät. Suurin ero 56 pv:n perusmalliin oli 35 pv:n ja 28 pv:n mittausjakson eläimillä. Etenkin 49 pv, viisi ja kolme punnituskertaa oli hyvin lähellä 56 päivän mittausjakson arvoja.

Taulukko 3. Residuaalisen syönnin laskennan lähtötiedot eri mittausjaksoille.

RFI mittausjakso	n=105 eläintä	56 pv	49 pv	42 pv	35 pv	28 pv	Viisi punnitusta	Kolme punnitusta
DMI kg ka/pv	Maksimi	10.16	9.92	9.59	9.47	9.33	10.16	10.16
	Minimi	5.78	5.52	5.33	5.35	5.21	5.78	5.78
	Keskiarvo	7.89	7.87	7.77	7.64	7.48	7.89	7.89
	Keskihajonta	0.884	0.890	0.889	0.880	0.855	0.884	0.884
ADG kg/pv	Maksimi	1.63	1.71	1.59	1.70	1.67	1.49	1.50
	Minimi	0.64	0.52	0.40	0.16	0.14	0.65	0.69
	Keskiarvo	1.13	1.11	1.09	1.09	1.10	1.13	1.14
	Keskihajonta	0.177	0.196	0.203	0.239	0.258	0.171	0.168
MMBW kg	Maksimi	83.8	83.1	82.4	81.6	81.0	83.8	83.9
	Minimi	55.0	54.3	53.7	53.1	52.1	54.9	55.0
	Keskiarvo	70.8	70.0	69.3	68.6	67.9	70.8	71.1
	Keskihajonta	4.80	4.80	4.79	4.78	4.60	4.74	4.86
FUFAT cm	Maksimi	2.96						
	Minimi	0.37						
	Keskiarvo	0.67						
	Keskihajonta	1.48						
FUREA cm ²	Maksimi	61.39						
	Minimi	4.96						
	Keskiarvo	33.40						
	Keskihajonta	48.36						

RFI=residuaalinen syönti, pv=päivää, DMI=kuiva-aineen syönti, ADG=keskimääräinen päiväkasvu, MMBW=metabolinen keskielopaino, FUFAT=selkäräsran paksuus, FUREA=selkäliahksen pinta-ala

5.2 RFI mittautulokset ja mallien vertailukriteerit

Residuaalisen syönnin eri mallien vertailukriteerit on esitetty taulukossa 4. RFI arvot vaihtelivat noin -2 ja +2 välillä eikä tässä ollut merkittäviä eroja mallien välillä. Keskihajonta erosi 28 pv:n kohdalla eniten muista mittausjaksoista. Selitysasteen (R^2) arvo vaihteli 0,45-0,50 välillä. Korjattu selitysaste (ADJ R-sq) vaihteli 0,44-0,49. Matalimmat R^2 -arvot olivat 56 pv:n perusmallissa ja viikon lyhyemmällä mittausjaksolla eli 49 pv:n jaksolla (0,45). Korkeimmat R^2 -arvot olivat lyhyillä mittausjaksoilla, 28 pv ja 35 pv (0,50). Lisättäessä selkäräsran paksuus ja selkäliahksen

poikkileikkauksen pinta-ala mukaan 56 pv:n perusmalliin ADJ R-sq nousi hieman (0,01) verrattuna 56 päivän perusmalliin. Informaatiokriteerit myös suurenivat kun 56 päivän perusmalliin lisättiin FUFAT ja FUREA mukaan eli malli huononi.

Eläinten järjestyksen muutosta verrattuna 56 päivän perusmalliin havainnollistetaan korrelaatiokertoimien sekä Cochranin kapin avulla (Taulukko 4). Pearsonin korrelaatiokerroin kuvaa RFI arvon muutosta ja Spearmanin korrelaatiokerroin eläinten järjestystä RFI:n suuruuden suhteen. Spearmanin korrelaatiokertoimen muutosta havainnollistettiin myös laskemalla järjestyslukujen muutosta, jotka esitetään 95 % luottamusvälin avulla. Lisäksi esitetään suurimmat muutokset ylös- ja alaspäin sekä niiden eläinten lukumäärät, joiden järjestyspaikka ei muuttunut ja joiden muuttui sekä viimeksi mainittujen prosentuaalinen osuus. Cochranin kappa kuvaa sitä, kuinka paljon eläinten luokittelu muuttuu luokkien RFI-matala, RFI-keskisuuri ja RFI-korkea välillä, kun käytetään vaihtoehtoisia malleja perusmallin sijaan. Tätä havainnollistetaan taulukoilla, jotka osoittavat näiden kolmen luokan väliset siirtymät.

Riippuen mallista 88-100 sonnin (83,8-95,2 % eläimistä) järjestysnumero muuttui, kun mittausjaksoa muokattiin alkuperäisestä (Taulukko 4). Paikkamuutosten määrä oli suurin 28 ja 35 pv:n malleissa. Lisäksi muutoksen suuruuden 95 %:n luottamusväli oli selkeästi suurin 28 pv:n ja toiseksi suurin 35 pv:n mallin kohdalla. Näissä malleissa nähtiin myös suurimmat äärimuutokset alas (35 pv: -23 ja 28 pv: -38) ja ylöspäin (35 pv: 38 ja 28 pv: 56).

Pearsonin korrelaation mukaan heikoin malli oli 28 pv:n malli, toiseksi heikoin 35 pv:n malli ja vahvimmat 49 pv:n ja viiden punnituksen mallit. Kolme punnitusta, 42 pv ja 56 pv yhdistettynä FUFAT ja FUREA mittauksilla antoivat saman korrelaatio tuloksen, joten ne olivat kaikki kolmanneksi parhaita malleja. Spearmanin korrelaation mukaan vahvin malli oli selkeästi 49 pv ja kaksi heikointa 28 pv:n ja 35 pv:n mallit. Viisi punnitusta, 42 pv ja 56 pv yhdistettynä FUFAT ja FUREA mittauksilla olivat toiseksi parhaita. Kolme punnitusta oli lähellä näiden mittausjaksojen tuloksia (ero vain 0,01).

Cochranin arvojen tulkinta Stoyan ym. (2018) mukaan on seuraava: 1-0,81 melkein täydellinen, 0,8-0,61 melko hyvä, 0,6-0,41 hyväksyttävä, 0,4-0,21 kohtalainen ja 0,2-0,01 heikko. Cochranin kapin mukaan verrattuna 56 pv:n perusmalliin viiden punnituksen arvo oli melkein täydellinen ja

huonoimman tuloksen eli 28 pv:n arvo oli hyväksyttävä. Kun 56 pv:n malliin yhdistettiin FUFAT ja FUREA mittaukset, tulos oli sama kuin 42 pv:n mittausjaksolla (0,83) eli melkein täydellinen. Kuitenkin tulos oli huonompi kuin kolmen punnituskerran mittausjaksolla (0,86).

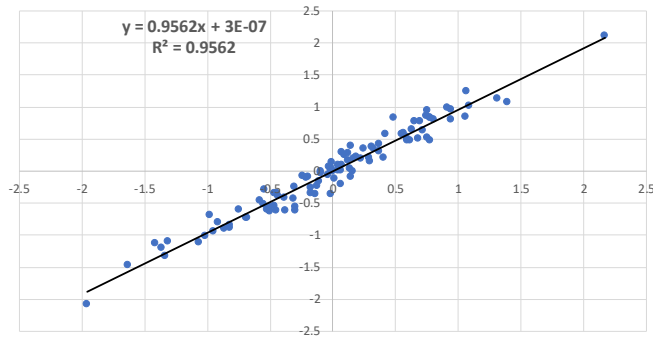
Taulukko 4. Residuaalisen syönnin eri mallien vertailukriteerit.

RFI mittausjaksot		56 pv perusmalli	56 pv+fufatfurea	49 pv	42 pv	35 pv	28 pv	Viisi punnitusta	Kolme punnitusta
RFI arvot	Minimi	-1.96	-2.07	-2.00	-2.03	-1.90	-2.19	-1.95	-1.89
	Maksimi	2.17	2.11	2.12	2.05	2.01	1.86	2.12	2.13
	Keskihajonta	0.69	0.68	0.69	0.67	0.66	0.63	0.69	0.69
Selitysaste	R2	0.45	0.47	0.45	0.49	0.50	0.50	0.46	0.46
	ADJ R-Sq	0.44	0.45	0.44	0.48	0.49	0.49	0.45	0.45
Informaatiokriteerit	AIC	232.60	235.90	233.00	225.80	222.90	215.10	231.10	231.10
	AICC	232.60	235.90	233.00	225.80	223.00	215.10	231.10	231.20
	BIC	235.20	238.50	235.60	228.40	225.50	217.70	233.70	233.80
Korrelaatiot ja kappa	Pearson r	1.00	0.98	0.99	0.98	0.94	0.88	0.99	0.98
	Spearman r	1.00	0.97	0.99	0.97	0.93	0.87	0.97	0.96
	Cochranin K	1.00	0.83	0.89	0.83	0.66	0.59	0.97	0.86
Luottamusväli	CI95%Low	0	-1.33	-0.93	-1.33	-2.20	-3.03	-1.33	-1.61
	CI95%Upp	0	1.33	0.93	1.33	2.20	3.03	1.33	1.61
	min	0	-16	-11	-22	-23	-38	-28	-29
	max	0	19	12	18	38	56	26	35
	Paikka muuttui, kpl	0	94	93	90	99	100	89	88
	Paikka muuttui, %	0	89.5	88.6	85.7	94.3	95.2	84.8	83.8

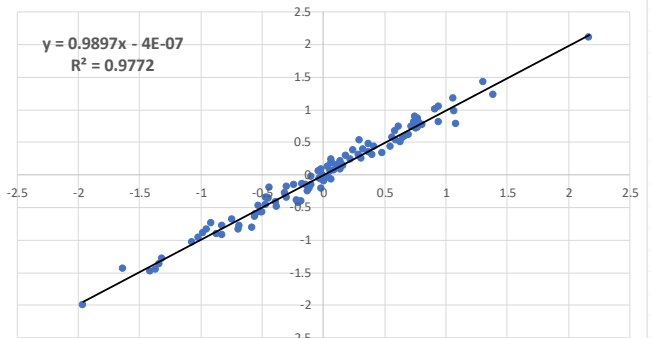
Kaikki Pearsonin ja Spearmanin korrelaatiot sekä Cochranin kappa olivat tilastollisesti merkitseviä ($p < 0,01$)

Pv=päivää, FUFAT=selkärasvan paksuus, FUREA= selkälihaksen pinta-ala

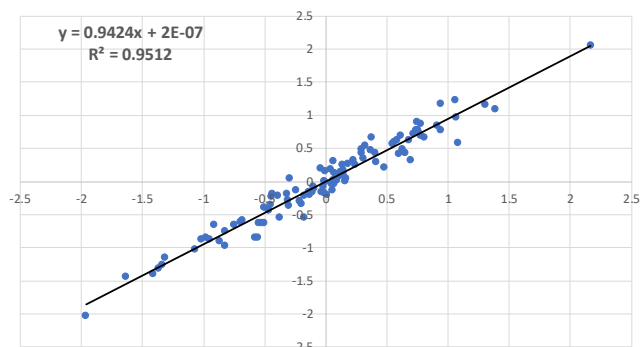
Kuvioissa 1-7 on esitetty RFI tulokset lineaarisella regressiosuoralla. Kuvaajien kulmakerroin pieneni mitä lyhempi mittausjakso oli. Lyhennetyillä punnitusjaksoilla kulmakertoimet olivat suurempia kuin mallissa 56 pv:ään on yhdistettynä FUFAT ja FUREA. Havaintojoukko hajaantuu suuremmalle alueelle mitä lyhyempi mittausjakso oli. Viiden ja kolmen punnituskerran mallien havainnot pysyivät hyvin lähellä suoraa, samoin kuin 49 pv:n mallien havainnot.



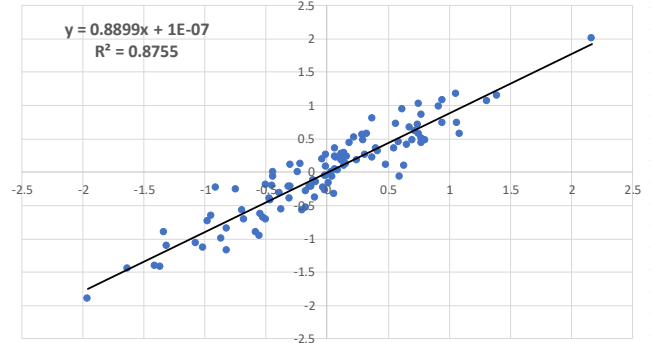
Kuvio 1. Lineaarisen regressiosuoran x-akselilla 56 päivän mittausjakso ja y-akselilla 56 päivän mittausjakso + FUREA ja FUFAT mittaukset.



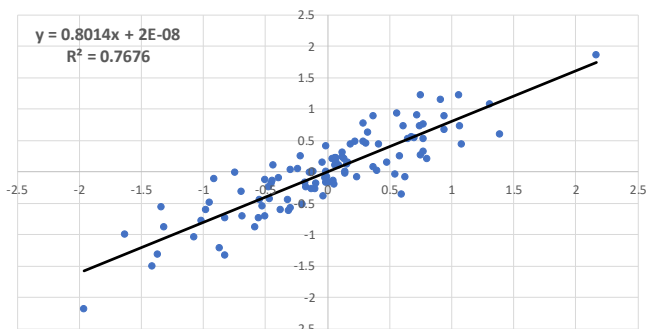
Kuvio 2. Lineaarisen regressiosuoran x-akselilla 56 päivän mittausjakso ja y-akselilla 49 päivän malli.



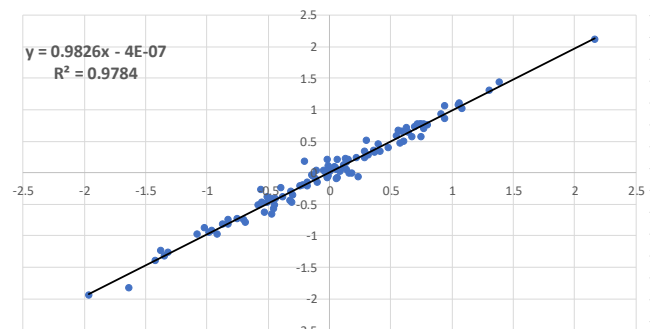
Kuvio 3. Lineaarisen regressiosuoran x-akselilla 56 päivän mittausjakso ja y-akselilla 42 päivän malli.



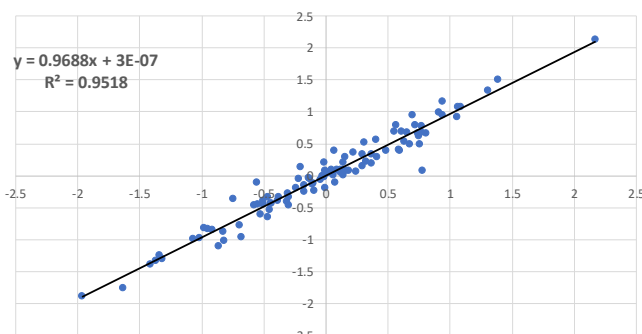
Kuvio 4. Lineaarisen regressiosuoran x-akselilla 56 päivän mittausjakso ja y-akselilla 35 päivän malli.



Kuvio 5. Lineaarisen regressiosuoran x-akselilla 56 päivän mittausjakso ja y-akselilla 28 päivän malli.



Kuvio 6. Lineaarisen regressiosuoran x-akselilla 56 päivän mittausjakso ja y-akselilla viiden punnituksen malli.



Kuvio 7. Lineaarisen regressiosuoran x-akselilla 56 päivän mittausjakso ja y-akselilla kolmen punnituksen malli.

Taulukot 5-7 kuvastavat eläinten järjestystä suhteessa 56 pv:n perusmalliin Cochranin kapan eli kolmen RFI-luokan vertailun perusteella. 105 sonnia on jaettu kolmeen ryhmään eli ryhmissä 1, 2 ja 3 jokaisessa on 35 sonnia. Taulukoista voi tarkastella eläinten järjestystä ja pysyykö se samanlaisena suhteessa 56 pv:n perusmallin tilanteeseen, vai tapahtuuko siirtymiä ryhmien välillä. Ainoastaan 28 pv:n jaksolla tapahtui siirtymä keskimmäisen ryhmän ylitse, eli ryhmästä 1 ryhmään 3. Muilla jaksoilla siirtymät olivat ryhmästä 1 ryhmään 2 tai ryhmästä 2 ryhmään 3 tai päinvastoin. 28 pv:n jaksolla tapahtui määrällisesti eniten siirtymiä, ja toiseksi eniten 35 pv:n jaksolla. Cochranin kapan kolmijaon perusteella paras malli oli viisi punnitusta ja sen mukaan 28 pv ja 35 pv jäävät selkeästi muita huonommiksi. Eläinten järjestys säilyi parhaiten samana viiden punnituksen mallissa ja tämän mallin tulokset olivat paremmat kuin 49 pv:n mallissa. Kolmen punnituksen mallissa oli vähemmän siirtymiä kuin 42 pv:n mallissa.

Taulukko 5. Cochranin kapan kolmijako, kun perusmallia (56 päivän mittausjakso) verrattiin 56 päivän mittausjaksoon + selkärasvan paksuus (FUFAT) ja selkälihaksen pinta-ala (FUREA).

56 pv+FUFAT ja FUREA kolmijako				
56 pv kolmijako	1	2	3	Yhteensä
1	32	3	0	35
2	3	29	3	35
3	0	3	32	35
Yhteensä	35	35	35	105

Taulukko 6. Cochranin kapan kolmijako, kun perusmallia (56 päivän mittausjaksoa) verrattiin lyhennettyihin (49, 42, 35 ja 28 päivän) malleihin.

49 pv kolmijako					42 pv kolmijako				
56 pv kolmijako	1	2	3	Yhteensä	56 pv kolmijako	1	2	3	Yhteensä
1	32	3	0	35	1	31	4	0	35
2	3	31	1	35	2	4	29	2	35
3	0	1	34	35	3	0	2	33	35
Yhteensä	35	35	35	105	Yhteensä	35	35	35	105

35 pv kolmijako					28 pv kolmijako				
56 pv kolmijako	1	2	3	Yhteensä	56 pv kolmijako	1	2	3	Yhteensä
1	28	7	0	35	1	27	8	0	35
2	7	23	5	35	2	7	21	7	35
3	0	5	30	35	3	1	6	28	35
Yhteensä	35	35	35	105	Yhteensä	35	35	35	105

Taulukko 7. Cochranin kapan kolmijako, kun perusmallia (56 päivän mittausjakso) verrattiin viiden ja kolmen punnituksen malleihin.

Viisi punnitusta kolmijako					Kolme punnitusta				
56 pv kolmijako	1	2	3	Yhteensä	56 pv kolmijako	1	2	3	Yhteensä
1	34	1	0	35	1	33	2	0	35
2	1	34	0	35	2	2	30	3	35
3	0	0	35	35	3	0	3	32	35
Yhteensä	35	35	35	105	Yhteensä	35	35	35	105

6 TULOSTEN TARKASTELU

6.1 Lähtötiedot ja RFI arvot

Analyysitulosten perusteella seosrehussa käytetty säilörehu oli käymislaadultaan hyvää. Seosrehun energia- ja valkuaisarvot olivat niin hyviä, että eläinten kasvupotentiaali saatiin todennäköisesti hyödynnettyä. Eläinten päiväkasvut olivat hyvällä tasolla maitorotuisiksi sonneiksi. Eläimet söivät keskimäärin 7,89 kg ka/pv ja päiväkasvut olivat 1,13 kg/pv 56 pv:n perusmallissa.

Aikaisempien tutkimusten mukaan syönnin mittausjaksoa on pystytty lyhentämään 35-43 pv:ään (Wang ym. 2006, Culbertson ym. 2015, Cassady ym. 2016, Manafiazar ym. 2017, Marzocchi ym. 2019). Manafiazarin ym. (2017) mukaan DMI:n tulokset tarkentuivat 5% kun pidennettiin mittausjaksoa yli 42 pv:n. Tämän tutkimuksen lähtötietojen DMI arvot erosivat selkeästi 35 pv:ssä, mutta suurempi muutos tapahtuu 28 pv:n kohdalla verrattuna alkuperäiseen 56 pv:n mittausjaksoon. Manafiazarin ym. (2017) mukaan lyhyempi kuin 42 pv:n pituus voi olla kriittinen laitteiston toimintavarmuuden kannalta, sillä tulosaineistoon voi tulla aukkoja ja mittaukset epäonnistua. Tästä tutkimuksesta oli puhdistettu DMI:n aineistosta epärealistisen korkeat syönnit ja muut virheelliset mittaukset. Näin ollen RFI:n mittausjaksoa ei pysty lyhentämään alle 42 pv:n, koska tästä seuraisi DMI:n tulosten luotettavuuden heikkeneminen.

ADG:n tuloksissa on huomioitava, että edellisissä vastaavissa tutkimuksissa mittausjaksot ovat olleet pidempiä, jopa 84 pv (Manafiazar ym. 2017) ja BIF (2018) suosittaa vähintään 70 pv:n pituutta ADG:n mittaamiseksi. Culbertson ym. (2018) suositti ADG mittausjakson pituudeksi lyhimmillään 56 päivää, mieluiten enemmän, jotta tulosten luotettavuus paranee. Tässä

tutkimuksessa koko kokeen pituus oli 56 pv, mitä voidaan pitää kriittisenä ADG:n kannalta. Kuitenkin ADG:n keskiarvon muutokset olivat pieniä kaikissa mittausjaksoissa verrattuna 56 pv:n perusmalliin. Tähän voi vaikuttaa myös eläinten rotu, sillä sonnit olivat maitorotuisia. On mahdollista, että maitorotuisten sonnien kasvu on tasaisempaa kuin liharotuisten eläinten. Usein RFI tutkimukset on toteutettu nuorilla liharotuisilla eläimillä (BIF 2018), ja näin ollen eläinten kasvuun voi heijastua vieroituksesta aiheutuvia muutoksia, kuten stressi ja uusi elinympäristö. Maitorotuisten sonnien olosuhteet voivat pysyä tasaisempina ilman vieroitusstressiä lähellä RFI:n mittausajankohtaa.

Vaikka ADG:n keskiarvon tulokset pysyivät tasaisina, näkyi keskihajonnassa selkeästi suurempia eroja 42 pv:n kohdalla. Edellisten tutkimusten mukaan liian lyhyt ADG jakso voi aiheuttaa epäluotettavuutta RFI tuloksiin (Wang ym. 2006, Culbertson ym. 2015, Manafiazar ym. 2017, BIF 2018, Ahlberg ym. 2018 Marzocchi ym. 2019). Viiden ja kolmen punnituskerran mittausjaksoilla ADG:n keskiarvot ja keskihajonta pysyivät lähempänä 56 pv:n mallia. Näin ollen ADG:n mittausjaksoa kannattaisi pidentää vähintään 56 pv:ään, mutta käyttää harvennettua punnitusväliä työmäärän pienentämiseksi. Tämä lieventäisi eläinten kasvun notkahduksien tai nousujen vaikutusta ADG:seen. Manafiazarin ym. (2017) mukaan mittausjakson optimoimiseksi olisi järkevää punnita eläimet riittävän pitkältä aikaväliltä ja käyttää DMI:llä lyhyempää mittausjaksoa.

MMBW pystytään laskemaan samalta mittausjaksolta kuin ADG ja myös aiempien tutkimusten mukaan MMBW ei ole kriittinen tekijä mittausjakson optimoimisessa. Marzocchin ym. (2019) mukaan lyhin jakso, jolta MMBW pystytään määrittämään oli 15 päivää, sisältäen kaksi punnituskertaa.

Alkuperäisessä 56 pv:n mallissa RFI arvot vaihtelivat -1,96 ja 2,17 välillä. Arvot olivat tyypillisiä RFI tuloksia sonneille. Kun ruhonkoostumusmittaukset, FUFAT ja FUREA lisättiin malliin RFI arvojen vaihteluväli oli -2,07 -2,11 ja keskihajonta pieneni hieman (0,01). Muissa malleissa RFI arvojen vaihteluväli kasvoi eniten 28 pv:n kohdalla sekä keskihajonta heikkeni eniten 28 pv:n mallissa.

6.2 Mallien vertailu

6.2.1 Selitysasteen, korjatun selitysasteen ja informaatiokriteerien tulkinta muokatuissa malleissa

Perusmalli (56 pv) toimi vertailukohteena tarkasteltaessa muiden mallien tuloksien luotettavuutta ja hyvyyttä. Tässä tutkimuksessa R^2 -arvot FUFAT ja FUREA mallissa olivat hieman suuremmat kuin 56 pv perusmallissa (0,45 vs. 0,47). ADJ-sq, minkä pitäisi ottaa huomioon selittävien muuttujien lukumäärä erosi mallien välillä 0,01. Muiden mallien vertailuun kuin FUFAT JA FUREA ADJ-sq ei tuo lisäarvoa, ja niiden kohdalla kannattaa huomioida vain R^2 . Montanholin ym. (2009) tutkimuksessa, missä RFI malliin lisättiin uusia muuttujia, R^2 -arvot vaihtelivat 0,58-0,67 välillä siten, että alkuperäinen RFI:n malli sai alhaisimman arvon. Kun RFI malliin lisättiin uusia muuttujia, R^2 -arvo nousi tai pysyi samana kuin alkuperäisessä RFI mittausjaksossa. Montanholin ym. (2009) lisäsi RFI malliin mukaan selkälihakseen ultraäänitutkimukset ja selkäräsvan paksuuden. Selkäräsvan ja selkälihakseen ultraäänitutkimuksien lisääminen RFI malliin paransi R^2 -arvoa (0,62 ja 0,67). Myös tässä tutkimuksessa FUFAT ja FUREA paransivat R^2 -arvoja, mutta muutos jäi paljon pienemmäksi kuin Montanholin ym. (2009) tutkimuksessa.

Culbertsonin ym. (2018) mukaan mittausjaksoa lyhennettäessä 0-56 pv:n tai 14-70 pv:n R^2 -arvot pienenivät. Pienin R^2 oli 0-14 pv:n lyhennetyssä mallissa (0,29) ja suurin 14-70 pv:n mallissa (0,92). Eli R^2 -arvot heikkenivät, kun RFI:n mittausjakson pituus lyheni. Tässä tutkimuksessa R^2 -arvot suurensivat eli paranivat hieman, kun mittausjakso oli 42 pv tai siitä lyhyempi (alkuperäinen 0,45 vs. 0,49 ja 0,50). Viiden ja kolmen punnituksen malleissa R^2 -arvot kasvoivat vain hieman verrattuna alkuperäiseen 56 pv:n mittausjaksoon (0,45 vs. 0,46). Verrattuna Culbertsonin ym. (2018) tutkimukseen R^2 -arvojen vaihteluväli samalta lyhennetyltä mittausjaksolta (56-28 pv) oli huomattavasti suurempi (0,26 vs. 0,05) kuin tässä tutkimuksessa, missä vaihteluväli jäi pieneksi.

Toinen poikkeama aiempaan tutkimukseen tuli informaatiokriteerien kohdalla, sillä Montanholin ym. (2009) mukaan informaatiokriteeri (BIC) laski eli parani kun malliin lisättiin ultraäänimittaukset, (alkuperäinen RFI malli 465,6 ja ultraäänimittaukset 327,7) mutta selkäräsvan lisäys heikensi BIC arvoa (467,5). Tässä tutkimuksessa kaikki informaatiokriteerit (AIC, AICC ja BIC) huononivat eli nousivat kun verrattiin FUFAT ja FUREA mallia alkuperäiseen 56 päivän mittausjaksoon. Informaatiokriteeri tulosten perusteella FUFAT ja FUREA mittauksien mukaan

ottamisella ei ollut merkittävää vaikutusta RFI tulosten parantumiseen verrattuna perusmalliin. Muissa malleissa informaatiokriteereistä ei ollut hyötyä, sillä muihin malleihin ei lisätty mitään uutta muuttujaa, mikä olisi voinut parantaa tilastomallia.

Arthurin ym. (2003) mukaan ruhonkoostumus mittaukset eivät vaikuta riittävän paljon residuaalisen syönnin mallissa eläinten fenotyyppiseen järjestykseen, jotta niitä kannattaisi käyttää. Growsafe-laitteiston valmistaja ei myöskään suosita käytettäväksi kaupallisissa RFI tutkimuksissa ultraäänimittauksia. Tästä voi päätellä, ettei ruhon koostumusmittauksilla saavuteta merkittävää lisäarvoa tai tarkkuutta RFI tuloksiin (Lansink ym. 2018). Myös muiden aiempien tutkimusten mukaan ruhonkoostumus mittauksien tulokset ovat olleet ristiriitaisia (Lancaster ym. 2009, Kelly ym. 2017, Fitzsimons ym. 2014, Kenny ym. 2018).

6.2.2 Lyhennetyt mallit: eläinten järjestysmuutokset

Kuten oli odotettu, mittausjakson lyhentyessä RFI mallien luotettavuus heikkeni. Näin tapahtui sekä Pearsonin- ja Spearmanin korrelaatioiden- että Cochranin kapin mukaan. Kuitenkin kyseisten vertailukriteerien perusteella kriittinen pituus RFI:n mittausjakson pituudeksi oli 42 pv. Kun mittausjakso lyheni 35 pv:ksi tapahtui selkeä heikkeneminen mallin luotettavuudessa, etenkin Cochranin kapin mukaan. 28 pv:n mallissa tapahtui RFI:n luokittelussa kolmeen ryhmään vuoto keskimmäisen ryhmän ylitse, mikä näkyi myös huonoimpana Cochranin kapin arvona (0,59). Aiempien tutkimusten mukaan etenkin korrelaatiot olivat tärkeässä roolissa vertailtaessa eri malleja toisiinsa (Culbertson ym. 2018, Marzocchi ym. 2019) sillä korrelaatiot ja kappa kuvastavat eläinten järjestystä muokattaessa RFI mittausjaksoa.

Luottamusvälin arvo eläinten lukumäärälle, joilla järjestysnumero ei muuttunut huononi 35 pv:n kohdalla. Luottamusvälin järjestysnumeroihin vaikuttaa pienikin muutos eläinten RFI tuloksessa. Tällöin eläimen järjestysnumero voi muuttua vain hieman. Esimerkiksi yhden eläimen järjestysnumero oli 56 pv:n perusmallissa viisi, mutta 49 pv:n mallissa se oli seitsemän. Cochranin kappa kuvasti paremmin eläinten järjestyksen muutosta verrattuna luottamusvälin tuloksiin. Cochranin kappaan ei vaikuttanut pienet muutokset yhtä paljon kuin luottamusvälin järjestykseen, koska eläinten järjestyksen piti muuttua useita yksiköitä, jotta ryhmä vaihtuisi. Cochranin kapin kolmijaon suurin muutos todettiin 28 pv:n mittausjaksolla, kun eläin vaihtoi ryhmää toisen ryhmän

ylitse, eli järjestysnumero muuttui vähintään 35 yksikköä. Tämä heikensi selkeästi 28 pv:n mittausjakson kappa-arvoa ja luotettavuutta.

6.2.3 Viiden ja kolmen punnituksen mallit: eläinten järjestysmuutokset

Viisi ja kolme mittausjaksoa toimivat luotettavuudessaan hyvin verrattuna lyhennettyihin mittausjaksoihin. Viisi punnituskertaa vastasi 49 pv:n mittausjaksoa ja kolme punnituskertaa oli luotettavampi kuin 42 pv. Cochranin kapin paras tulos oli viidellä punnituskerralla (0,97). Tämä viittaa siihen, että ADG:n mittaaminen harvemmillä punnituserroilla ei heikennä liikaa tilastomallin luotettavuutta. Työmäärän vähentämiseksi punnituskertojen harventaminen vaikuttaa lupaavalta vaihtoehdolta. Viiden punnituksen mallissa oli neljä punnitusta vähemmän kuin 56 pv:n perusmallissa ja kolmen punnituskerran mallissa kuusi punnituskertaa vähemmän. Aikaisemmissa tutkimuksissa ei ole kokeiltu yhtä harvaa punnitusmallia kuin kolmea punnituskertaa. Kolmen punnituksen mallissa Cochranin kappa arvo oli 0,86, eli arvo huononi jo selkeästi enemmän kuin viiden punnituksen jaksolla. Edeltävissä kokeissa punnitukset olivat viikoittain tai joka toinen viikko. Wangin ym. (2006) mukaan ADG:n mittausjakson tulee olla pidempi, jos punnituskertoja harvennetaan joka toiseen viikkoon.

6.2.4 Ruhonkoostumus mittaukset lisättynä 56 päivän malliin: eläinten järjestysmuutokset

Eläinten järjestys muuttui 89,5% verrattuna alkuperäiseen 56 päivän malliin eli 94 eläimen paikka muuttui. Muutos oli suurempi kuin 42 pv:n tai kolmen punnituksen mallissa verrattuna alkuperäiseen malliin (90 kpl ja 88 kpl muutokset) eli FUFAT ja FUREA mittaukset heikensivät RFI mallia enemmän kuin mittausjakson lyhentäminen 42 pv:ään asti tai punnituskertojen harventaminen kolmeen.

Pearsonin-, ja Spearmanin korrelaatioiden mukaan ruhonkoostumusmittaukset heikkenivät hieman verrattuna 56 päivän alkuperäiseen malliin, mutta olivat kuitenkin vielä hyviä (0,97 ja 0,98) Cochranin kapin tulos (0,83) oli sama FUFAT ja FUREA mallissa ja 42 pv:n mallissa verrattuna alkuperäiseen 56 pv:n mittausjaksoon. FUFAT ja FUREA mallin tulokset olivat samankaltaisia kuin 42 pv:n mallissa verrattuna 56 pv:n alkuperäiseen mittausjaksoon. Tästä voidaan päätellä, että korrelaatioiden ja kapin mukaan FUFAT ja FUREA lisäys 56 pv:n malliin heikensi enemmän alkuperäistä 56 pv:n mittausjaksoa kuin 49 pv:n-, viiden- tai kolmen punnituskerran mallit.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tavoitteena oli optimoida residuaalisen syönnin mittausjakson määrittämisessä tarvittavien mittausten määrää siten, ettei luotettavuus kärsii liikaa. Optimoimalla voidaan vähentää mittaamiseen tarvittavaa työmäärää. RFI:n mittausjakson lyhin käyttökelpoinen pituus oli 42 pv. Aikaisempi kirjallisuus huomioiden tämä pituus on riittävä DMI:n mittaamiseen. DMI:n mittaaminen lyhyemmältä kuin 42 pv:n jaksolta on riski, koska laitteiden toimintahäiriöt voivat kadottaa kriittisen määrän aineistoa. Tästä seuraisi RFI:n määrittämisen epäonnistuminen. Ruhon koostumusmittauksien lisääminen RFI malliin heikensi tilastomallia, joten optimoinnin näkökulmasta niitä ei kannata käyttää RFI:n laskennassa.

On suositeltavaa käyttää pidempää päiväkasvun mittausjaksoa kuin 42 pv, jotta eläinten kasvun muutokset heijastuisivat loivempina ja kasvu olisi tasaisempi. Viisi ja kolme punnituskertaa 56 pv:n jaksolla antoi luotattavammat tulokset kuin 42 pv. Tämä viittaa siihen, että ADG:n mittaamiseen riittää vähemmän punnituksia, mutta pidempi ADG:n mittausaika on hyödyksi tulosten tarkkuuden kannalta.

ADG:n mittaamista voidaan optimoida harventamalla eläinten punnitusväliä ja punnitusten määrää. Työmäärään vähentämiseksi ADG kannattaa mitata pidemmältä ajalta minimi määrällä punnituksia, eli vähintään kokeen alussa-, puolivälissä ja lopussa tuplapunnitukset. MMBW saadaan laskettua samalta jaksolta kuin ADG, eikä se ollut myöskään aiemman kirjallisuuden perusteella kriittinen tekijä mittausjakson optimoimisessa.

Jatkotutkimuksena RFI:tä pitäisi mitata pihvirotuisilta hiehoilla ja sonneilla, sillä maitorotuisilla lihasonneilla RFI:stä ei ole käytännön hyötyä jalostuksen näkökulmasta. Suomessa on tehty vielä vähän residuaalisen syönnin mittauksia, eikä sitä tällä hetkellä käytetä Suomessa liharotuisten eläinten jalostusarvojen laskennassa. Uusissa RFI kokeissa tulisi mitata DMI 42 päivän mittausjaksolta ja ADG yli 56 päivän mittausjaksolta. Vaikka mittausjaksot olisivat tällöin eripituiset, pitäisi ADG:n olla lineaarista ja periaatteessa kasvukäyrällä näkyisi lyhyen aikavälin muutokset. Lyhyt ADG:n mittausjakso voi vaikuttaa enemmän ADG:n suuruuteen kuin pidempi

mittausjakso. ADG:n määrittämisessä kannattaisi siis keskittyä mittausjakson riittävään pituuteen punnitusten määrän sijaan. Tässä tutkimuksessa saatiin kolmella punnituksella suhteellisen luotettavia RFI tuloksia. Jos harvennettu punnitusmäärä vielä pidemmältä aikaväliltä kuin tässä kokeessa osoittautuisi luotettavaksi, olisi RFI:n mittausmenetelmiä mahdollista soveltaa emolehmätarkkailussa kerättäviin tietoihin (syntymäpaino, vieroituspaino ja vuodenpaino). Tällöin punnitustiedot olisivat ainakin osittain eläimillä valmiina. Lisäksi tarvittaisiin DMI:n määrittäminen yhtäläiseltä jaksolta, kuten 8-12 kk ikäisiltä eläimiltä, jotta RFI tulokset olisivat vertailukelpoisia keskenään.

8 KIITOKSET

Työn ohjauksesta haluan kiittää Luonnonvarakeskuksen johtava tutkija Jaakko Monosta ja tutkimusprofessori Arto Huuskosta sekä yliopistonlehtori Seija Jaakkolaa. Kiitos myös yliopistonlehtori Tuomo Kokkoselle avusta tutkimusaineiston analysoinnissa.

9 LÄHTEET

- Aass, L., Fristedt, C. & Gresham, J. 2009. Ultrasound prediction of intramuscular fat content in lean cattle. *Livestock Science* 125: 177-186.
- Ahlberg, C. M., Allwardt, K., Broocks, A., Bruno, K., McPhillips, L., Taylor, A., Krehbiel, C. R., Calvo-Lorenzo, M., Richards, C. J., & Place, S. E. 2018. Test duration for water intake, ADG and DMI in beef cattle. *Journal of Animal Science* 96: 3043-3054.
- Anderson, R., Rasby, R. J., Klopfenstein, T. J. & Clark, R. 2005. An evaluation of production and economic efficiency of two beef systems from calving to slaughter. *Journal of Animal Science* 83: 694-704.
- AOAC, 1990. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington, VA. 1298 s. ISBN 0-935584-42-0.

- Arthur, P., Archer, J., Johnston, D., Herd, R., Richardson, E. & Parnell, P. 2001. Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency, and other postweaning traits in Angus cattle. *Journal of Animal Science* 79: 2805-2811.
- Arthur, P., Herd, R. & Archer, J. 2003. Should measures of body composition be included in the model for residual feed intake in beef cattle. Should measures of body composition be included in the model for residual feed intake in beef cattle. *Proceedings of the fifteenth conference association for the advancement of animal breeding and genetics*. s. 306-309.
- BIF – Beef Improvement Federation. 2018. Guidelines for Uniform Beef Improvement Programs. 9. painos, Viitattu 6.4.2020 Saatavissa: <https://beefimprovement.org/library-2/bif-guidelines>
- Cassady, C. J., Shike D. W., Felix T.L. & Beever J.E. 2016. Effects of timing and duration of test period and diet type on intake and feed efficiency in Charolais-sired cattle. *BIF Proc*: 57-64.
- Cruz, G., Rodríguez-Sánchez, J., Oltjen, J. & Sainz, R. 2010. Performance, residual feed intake, digestibility, carcass traits and profitability of Angus-Hereford steers housed in individual or group pens. *Journal of Animal Science* 88: 324-329.
- Culbertson, M., Speidel, S., Peel, R., Cockrum, R., Thomas, M. & Enns, R. 2015. Optimum measurement period for evaluating feed intake traits in beef cattle. *Journal of Animal Science* 93: 2482-2487.
- Fitzsimons, C., Kenny, D. & McGee, M. 2014. Visceral organ weights, digestion and carcass characteristics of beef bulls differing in residual feed intake offered a high concentrate diet. *Animal* 8: 949-959.
- Foote, A. P., Hales, K. E., Tait Jr, R. G., Berry, E. D., Lents, C. A., Wells, J. E., ... & Freetly, H. C. 2016. Relationship of glucocorticoids and hematological measures with feed intake, growth, and efficiency of finishing beef cattle. *Journal of Animal Science*, 94: 275-283.
- Gresham, J. 1996. Introduction to characterization of live beef muscle tissue by use of the Pie 200 Scanner quality indexing system: an automated system for estimating quality grade of beef animals. *The Ultrasound Review*. Classic Ultrasound Equipment. Tequesta, Florida, USA.

- Herd, R. & Arthur, P. 2009. Physiological basis for residual feed intake. *Journal of Animal Science* 87: E64-E71.
- Huhtanen, P. Nousiainen, J. & Rinne, M. 2006. Recent developments in forage evaluation with special reference to practical applications. MTT Agrifood Research, Finland.
- Huhtanen, P. Rinne, M. & Nousiainen, J. 2007. Evaluation of the factors affecting silage intake of dairy cows: a revision of the relative silage dry-matter intake index. *Animal* 1: 758-770.
- Huida, L., Väättäinen, H. & Lampila, M. 1986. Comparison of dry matter contents in grass silages as determined by oven drying and gas chromatographic water analysis. Comparison of dry matter contents in grass silages as determined by oven drying and gas chromatographic water analysis. *Annales Agriculturae Fenniae*. s. 215-230.
- Jones, F., Phillips, F., Naylor, T. & Mercer, N. 2011. Methane emissions from grazing Angus beef cows selected for divergent residual feed intake. *Animal Feed Science and Technology* 166: 302-307.
- Kelly, A. K., Lawrence, P., Earley, B., Kenny, D. A. & McGee, M. 2017. Stress and immunological response of heifers divergently ranked for residual feed intake following an adrenocorticotrophic hormone challenge. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 8: 65.
- Kenny, D., Fitzsimons, C., Waters, S. & McGee, M. 2018. Invited review: Improving feed efficiency of beef cattle—the current state of the art and future challenges. *Animal* 12: 1815-1826.
- Koch, R., M., Swiger, L.A., Chambers, D., Gregory, K. E. 1963. Efficiency of feed use in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 22.2: 486-494.
- Lancaster, P., Carstens, G., Ribeiro, F., Tedeschi, L. & Crews Jr, D. 2009. Characterization of feed efficiency traits and relationships with feeding behavior and ultrasound carcass traits in growing bulls. *Journal of Animal Science* 87: 1528-1539.
- Lansink, N., Mendes, E.D.M. & Garossino, K. 2018. Feed efficiency trials. GrowSafe Systems. www.growsafe.com. Technical Bulletin. 3 s.

Luke. 2020. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. Viitattu 30.3.2020. Saatavissa:

<https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Rehutaulukot>.

MAFF. 1975. Energy allowances and feeding systems for ruminants. Teoksessa: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food Technical Bulletin, No. 33. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London, UK.

Manafiazar, G., Basarab, J., McKeown, L., Stewart-Smith, J., Baron, V., MacNeil, M. & Plastow, G. 2017. Optimizing feed intake recording and feed efficiency estimation to increase the rate of genetic gain for feed efficiency in beef cattle. *Canadian Journal of Animal Science* 97: 456-465.

Mao, F., Chen, L., Vinsky, M., Okine, E., Wang, Z., Basarab, J., Crews Jr, D. & Li, C. 2013. Phenotypic and genetic relationships of feed efficiency with growth performance, ultrasound, and carcass merit traits in Angus and Charolais steers. *Journal of Animal Science* 91: 2067-2076.

Marzocchi, M. Z., Sakamoto, L. S., Canesin, R. C., Cyrillo, Joslaine dos Santos Gonçalves & Mercadante, M. E. Z. 2019. Evaluation of test duration for feed efficiency in growing beef cattle. *Tropical Animal Health and Production*: 1-7.

McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan. C. A., Sinclair. L. A. & Wilkinson. R. G. 2011. *Animal Nutrition*. 7. painos. Harlow, UK: Pearson Education Limited. 255-279, 285-286, 392-393 s.

McDonnell, R., Hart, K., Boland, T., Kelly, A., McGee, M. & Kenny, D. 2016. Effect of divergence in phenotypic residual feed intake on methane emissions, ruminal fermentation, and apparent whole-tract digestibility of beef heifers across three contrasting diets. *Journal of Animal Science* 94: 1179-1193.

Montanholi, Y., Swanson, K., Schenkel, F., McBride, B., Caldwell, T. & Miller, S. 2009. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. *Livestock Science* 125: 22-30.

Montanholi, Y., Swanson, K., Palme, R., Schenkel, F., McBride, B., Lu, D. & Miller, S. 2010. Assessing feed efficiency in beef steers through feeding behavior, infrared thermography and glucocorticoids. *Animal* 4: 692-701.

- Montanholi, Y., Fontoura, A., Swanson, K., Coomber, B., Yamashiro, S. & Miller, S. 2013. Small intestine histomorphometry of beef cattle with divergent feed efficiency. *Acta Veterinaria Scandinavica* 55: 9.
- Nkrumah, J., Okine, E., Mathison, G., Schmid, K., Li, C., Basarab, J., Price, M., Wang, Z. & Moore, S. 2006. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *Journal of Animal Science* 84: 145-153.
- Nousiainen, J., Rinne, M., Hellämäki, M. & Huhtanen, P. 2003. Prediction of the digestibility of the primary growth of grass silages harvested at different stages of maturity from chemical composition and pepsin-cellulase solubility. *Animal Feed Science and Technology* 103: 97-111.
- Okine, E., Basarab, J., Goonewardene, L., Mir, P., Mir, Z., Price, M., Arthur, P. & Moore, S. 2003. Residual feed intake: what is it and how does it differ from traditional concepts of feed efficiency. *Proceedings of the Canadian Society of Animal Science*.
- Pesonen, M. 2010. Liharotuisten nautojen rehun hyväksikäyttö ja residuaalinen syönti. *MTT raportti* 9: 75–105.
- Richardson, E., Herd, R., Oddy, V., Thompson, J., Archer, J. & Arthur, P. 2001. Body composition and implications for heat production of Angus steer progeny of parents selected for and against residual feed intake. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41: 1065-1072.
- Richardson, E., Herd, R., Archer, J. & Arthur, P. 2004. Metabolic differences in Angus steers divergently selected for residual feed intake. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 44: 441-452.
- Seabury, C. M., Oldeschulte, D. L., Saatchi, M., Beever, J. E., Decker, J. E., Halley, Y. A., Bhattarai, E. K., Molaei, M., Freetly, H. C. & Hansen, S. L. 2017. Genome-wide association study for feed efficiency and growth traits in US beef cattle. *BMC Genomics* 18: 386.
- Stoyan, Dietrich, et al. 2018. Multiple-rater kappas for binary data: Models and interpretation. *Biometrical Journal*, 60.2: 381-394.

- Van Soest, P. J., Robertson, J. B. & Lewis, B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3597.
- Wang, Z., Nkrumah, J., Li, C., Basarab, J., Goonewardene, L., Okine, E., Crews Jr, D. & Moore, S. 2006. Test duration for growth, feed intake, and feed efficiency in beef cattle using the GrowSafe System. *Journal of Animal Science* 84: 2289-2298.
- Webster, A., Osuji, P., White, F. & Ingram, J. 1975. The influence of food intake on portal blood flow and heat production in the digestive tract of sheep. *British Journal of Nutrition* 34: 125-139.

